

자동발전제어 이행수준의 평가 및 계통기여도 반영 정산체계 수립

옥기열
전력거래소

김광인
전력거래소

김두중
전력거래소

박종배
건국대학교

Measurement of AGC Service Delivery and Performance Based Settlement

Ki-Youl Ok
Korea Power Exchange

Kwang-In Kim
Korea Power Exchange

Doo-Jung Kim
Korea Power Exchange

Jong-Bae Park
Konkuk University

Abstract - 우리나라의 변동비반영시장(CBP)은 자동발전제어(AGC)의 계공수준에 관한 정량적 평가방법을 수립되지 않아, 동 서비스의 제공과 직접적으로 관계없는 에너지 공급량에 비례하여 공급대가를 지불하고 있다. 이에 따라 전력거래소는 시장효율 향상을 위한 제도개선의 일환으로 발전기별 이행성과 및 기여도를 반영하는 AGC 정산체계를 수립하였다. 새로운 정산체계에서 발전기별 AGC 이행성과와 기여도는 각각 계통의 기대출력에 대한 실제출력의 통계적 상관계수와 EMS의 제어참여율로 결정된다. 본 논문은 AGC 정산체계의 개선방안에 관한 세부내역 및 근거를 설명하고, 사례분석을 통해 방법론의 유효성을 입증하고 있다.

1. 서 론

우리나라의 변동비반영시장(CBP)은 조속기의 Governor Free, 자동발전제어(AGC), 대기예비력, 대제예비력, 그리고 자체기동 보조서비스에 대한 공급대가를 지불하고 있다. 그러나 AGC의 경우 발전기별 기여도 및 이행성과의 정량적 평가방법이 개발되지 않아, 에너지(전력량) 및 속도조절에 근거한 대가지불이 이루어지고 있다. 이에 따라 발전기별 기여도 및 이행성과를 반영하는 AGC 정산체계의 개발이 요구되었다.[1] 한편 해외 전력시장의 경우에도 발전기의 AGC 공급성과에 대한 평가의 필요성이 제기되어 일부 연구결과가 제시되었다. AGC의 제어전략은 정상상태의 추세적 부하변동(또는 주파수)을 추종하는 발전추세를 산출하는 것이므로, AGC 이행성과 평가방법론은 공통적으로 계통의 기대출력에 대한 발전기 실제출력의 통계적 공분산, 표준편차 및 상관계수를 활용하고 있다.[2-4] 전력거래소는 우리나라 EMS의 AGC 운영체계 및 기존의 연구결과를 바탕으로 발전기별 기여도 및 이행성과를 반영하는 AGC 정산체계를 수립하였다. 아래에서는 전력거래소가 제시한 AGC 정산체계의 세부내역 및 근거를 설명하고, 실제통의 사례분석을 통해 방법론의 타당성을 입증한다.

2. 전력거래소의 AGC 운영체계

2.1 MOS-EMS 연계급전

전력거래소는 차기 전력시장의 시장운영시스템(MOS)을 활용한 실시간 급전계획을 도입함으로써 CBP의 급전효율 향상을 도모하고 있다. MOS는 예비력을 에너지와 동시에 최적화하므로, EMS는 MOS에서 결정된 기준출력 및 경제참여율에 따라 AGC를 수행하게 된다.[5] 이러한 MOS-EMS 연계체계는 AGC의 관점에서 다음과 같은 3가지 특징을 가진다. 첫째, MOS의 급전계획을 통한 5분 단위 목표출력(기준출력)은 에너지 급전지시도 파악되며, AGC 보조서비스 정산에서 배제된다. 둘째, MOS의 급전계획을 통한 AGC의 경제적 운전수준(상한 및 하한)이 EMS로 연계되지 않아, 해외 전력시장에서 일반화된 급전계획용량에 의한 정산이 곤란하다. 셋째, AGC의 부하추종(Tracking)은 MOS의 경제참여율에 의하지만, 주파수조정(Regulation)은 EMS의 조정참여율에 의하므로, MOS의 급전계획용량만을 고려한 정산은 불합리하다. 즉 MOS-EMS 연계급전으로 우리나라도 실시간 에너지 급전체계가 도입되었지만, AGC 운영체계의 고유특성으로 실시간 급전계획용량을 이용한 간단한 AGC 정산체계를 적용할 수 없다.

2.2 EMS의 AGC 제어체계

EMS의 AGC 요구출력은 MOS 급전계획(경제급전)의 기준출력에 부하추종(Tracking) 및 주파수조정(Regulation) 성분을 가산한 것으로, 계통전체의 부하추종 및 주파수조정 요구에 대한 발전기별 기여도는 각각 경제참여율(Epf) 및 조정참여율(Rpf)에 의한다.[6]

$$P_{DG} = P_{Basepoint} + \Delta P_{Tracking} + \Delta P_{Regulation}$$

$$= P_{Basepoint} + Epf_i \times \Delta D + Rpf_i \times ACE$$

$$= P_{Basepoint} + Epf_i \times \sum_{k=1}^N (P_k - P_{10}) + Rpf_i \times (-10\Delta F)$$

(B= 400MW/0.1Hz)

여기서 ΔD 는 급전계획 대비 실시간의 수요편차, ΔF 는 주파수편차, B는 우리계통의 Frequency Bias를 의미한다. 경제참여율은 AGC의 계통요구량 대비 발전기별 MOS 급전계획용량의 비율, 조정참여율은 전체 발전기의 증발량 대비 발전기별 증발량의 비율에 의한다.

3. 발전기의 AGC 성과측정

3.1 발전기의 AGC 성과지표

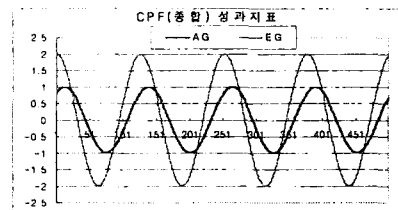
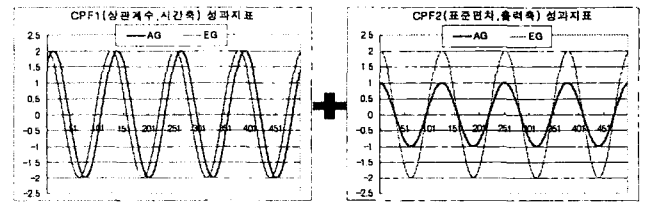
AGC 발전기에 대한 성과지표는 정상상태에서 계통의 요구출력에 대한 발전기 실제출력의 추세적 추종능력이므로, 아래와 같이 단위기간(1분)의 평균출력에 대한 통계적인 상관계수 및 표준편차로 정의하였다.

$$CPF = CPF1 \times CPF2$$

$$CPF1 = Correl(\overline{AG}_m, \overline{EG}_m) = \frac{Covar(\overline{AG}_m, \overline{EG}_m)}{Stdev(\overline{AG}_m) \times Stdev(\overline{EG}_m)}$$

$$CPF2 = 1 - \left| \frac{Stdev(\overline{AG}_m) - Stdev(\overline{EG}_m)}{Stdev(\overline{EG}_m)} \right|$$

여기서 \overline{AG} 는 발전기의 실제출력(1분평균), \overline{EG} 는 AGC 요구출력(\overline{DG})에 조속기 예상응답(\overline{GF})을 가산한 발전기의 기대출력(1분평균)이다. CPF1은 실제출력과 기대출력의 상관계수로 발전기의 응답지연 및 방향성을 평가하는 것이며, CPF2는 실제출력과 기대출력의 표준편차의 비로 출력크기 및 변동성을 평가하는 것으로, 이러한 CPF의 기본개념은 아래의 그림과 같다.



<그림 1> AGC 성과지표 도출개념

3.2 AGC 성과측정 사례분석

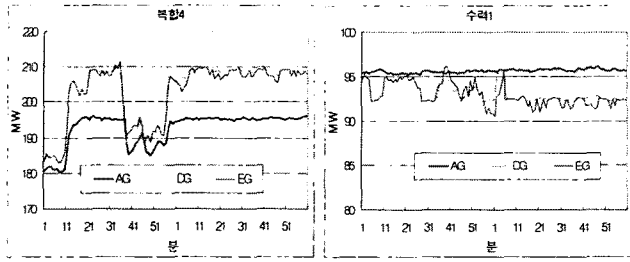
아래의 표는 2005년 7월 7일 14:35-16:35사이의 전력거래소 실제통 운영 자료를 활용한 발전기의 AGC 성과지표 산출사례를 보여준다.

<표 1> AGC 발전기의 성과측정 사례

발전기	CPF1(상관계수)			CPF2(표준편차)			CPF(종합)		
	T1	T2	T1~T2	T1	T2	T1~T2	T1	T2	T1~T2
유연단1	0.7399	0.6518	0.8401	0.8621	0.9398	0.9954	0.6379	0.6126	0.8363
유연단2	0.9875	0.9421	0.9808	0.9668	0.8152	0.9329	0.9547	0.7679	0.9150
중 유1	0.9822	0.9216	0.9884	0.8965	0.5507	0.8665	0.8806	0.5076	0.8564
복 합1	0.8126	0.7546	0.9022	0.9040	0.9192	0.9185	0.7346	0.6936	0.8287
복 합2	0.9065	0.7184	0.9768	0.9981	0.4365	0.9609	0.9038	0.3135	0.9386
복 합3	0.8317	0.8087	0.8553	0.9963	-0.5419	0.9741	0.8286	-0.4382	0.8332
복 합4	0.9319	0.0278	0.9451	0.5832	0.1910	0.5557	0.5435	0.0053	0.5252
수 력1	-0.5565	0.0522	-0.5972	0.1142	0.1754	0.1542	-0.0635	0.0092	-0.0921
수 력2	0.9876	0.9776	0.9958	0.9017	0.8016	0.9161	0.8905	0.7836	0.9122
양 수1	0.9917	0.9945	0.9932	0.8923	0.9491	0.9339	0.8849	0.9439	0.9275

위의 사례분석을 통해 아래와 같은 결과를 도출할 수 있다.

첫째, 전력거래소가 제시한 성과지표는 발전기별 AGC 이행성과를 명확하게 구분한다. 표에서 복합4는 상관계수(방향성)가 양호하나 표준편차(변동성)가 미흡하고 수력1은 둘 다 미흡한 사례로 다음 그림으로 확인된다.



〈그림 2〉 AGC 이행성과가 미흡한 사례

둘째, AGC 이행성과를 평가하기 위한 상관계수 및 표준편차는 단위시간보다는 연속시간에 걸쳐 평가할 때, 측정해상도가 향상된다. 즉 복합2 및 복합3은 시간경계에서 출력이 급변하여 T2시간의 성과측정 오류가 발생하지만 T1-T2 연속시간에 걸친 성과지표는 동 문제가 발생하지 않는다.

4. AGC 서비스의 정산대가

4.1 AGC 서비스의 정산산식

전력거래소는 발전기별 계통기여도 및 이행성과를 반영하는 새로운 AGC 정산산식을 다음과 같이 제안하였다.

$$AGCP_{i,t} = AGCQ_{i,t} \times CAWF_{i,t} \times CPWF_{i,t} \times AGCF$$

- AGCP_{i,t}: 시간대별 AGC 서비스의 정산대가 [천원]
- AGCQ_{i,t}: 시간대별 AGC 서비스의 정산용량 [MW·hr]
- CAWF_{i,t}: 발전기의 AGC 가용도에 대한 가중치
- CPWF_{i,t}: 발전기의 AGC 서비스 이행성과에 대한 가중치
- AGCF: AGC 서비스에 대한 단일의 정산단가[천원/MW·hr]

4.1.1 AGC 정산용량

앞에서 살펴본 바와 같이 전력거래소 EMS의 AGC는 추종(Tracking) 및 조정(Regulation)제어의 합산이며, 각각에 대한 발전기별 기여도는 경제참여율(Epf) 및 조정참여율(Rpf)에 의함을 살펴보았다. 한편 실시간 계통상황에 따라 변동되는 발전기별 AGC 참여량을 직접적으로 산정하는 것은 객관적인 방법론을 도출하기 곤란하고, 정산대가의 지나친 변동성을 야기할 수 있다. 따라서 발전기별 AGC 제어참여율에 계통운영기준에 따른 요구량을 곱하여 발전기별 정산용량을 산정하는 방안을 차선책으로 제시되며, 이는 해의 전력시장의 사례 및 후후의 AGC 현물시장 도입전방파의 연계성 측면에도 유리하다. 다만 계통운영기준의 요구량(500MW)이 실시간 AGC 제어용량을 대체로 만족하는 지가 문제인데, 2006년 1월 10일에서 1월 17일 사이의 매 5분단위(8287구간) 사례분석에 의하면 87.8%의 신뢰수준에서 이를 만족하는 것으로 파악되었다.

$$AGCQ_{i,t} = Apf_{i,t} \times AGCREQ$$

$$Apf_{i,t} = \frac{1}{2} (Rpf_{i,t} + Epf_{i,t}) = \frac{1}{60} \sum_{m=1}^{60} (Rpf_{i,m} + Epf_{i,m})$$

- AGCREQ: 시간대별 AGC 예비용량 확보기준 (현행은 500MW)
- Rpf_{i,t}: 시간대별 발전기별 조정참여율
- Epf_{i,t}: 시간대별 발전기별 경제참여율
- Rpf_{i,m}: 매 1분의 발전기별 조정참여율
- Epf_{i,m}: 매 1분의 발전기별 경제참여율

4.1.2 AGC 제어가용도 정산가중치

MOS를 통한 AGC의 급전계획용량 및 EMS의 AGC 제어는 먼저 발전기가 AGC 설비를 갖추고 충분한 운전용량이 확보될 것을 요구한다. 우리나라 전력시장의 용량보상금(CP)은 AGC 설비의 고정비에 대한 보상을 포함하지만, 에너지 입찰용량만을 기준으로 지불되므로 AGC 가용도에 대한 유인동기를 제공하지 못한다. 따라서 입찰가능용량 대비 AGC 운전용량으로 정의되는 가용도에 따라 정산대가를 달리함으로써, AGC 운전용량 확보를 위한 발전사업자의 유인동기를 제공할 필요가 있다. 다만 기존의 관행 및 시장참여자의 적응성을 고려하여 가용도지수를 직접적으로 적용하기 보다는 일정 범위에 따른 선형 가중치를 적용하게 되었다.

$$CAF_{i,t} = \frac{1}{60} \times \sum_{m=1}^{60} \frac{(LFC_{i,m}^{max} - LFC_{i,m}^{min})}{RA_{i,t}} \times 100$$

- CAF_{i,t}: 발전기 AGC 가용도지수 (Control Availability Factor)
- LFC_{i,m}^{max}: 발전기 AGC 최대운전용량 (대분)
- LFC_{i,m}^{min}: 발전기 AGC 최소운전용량 (대분)
- RA_{i,t}: 발전기 입찰공급가능용량 (매시간)

〈표 2〉 AGC 제어가용도 정산가중치

CAF _{i,t} [%]	15미만	15이상 20미만	20이상 25미만	25이상 30미만	30이상 35미만	35이상 40미만	40이상 45미만	45이상 50미만	50이상
가중치	0.9	0.95	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3

4.1.3 AGC 제어성과 정산가중치

앞에서 AGC 이행성과는 CPF1(상관계수)과 CPF2(표준편차)의 곱으로 평가할 수 있음을 언급하였다. 그러나 동 방법론의 충분한 검증과 시장에서의 점진적 수용을 고려하여 우선적으로 CPF1만을 고려하되, 성과측정의 충분한 해상도를 확보하기 위해 일간 단위로 상관계수를 산정키로 하였다. 이 역시 직접적인 계수를 정산에 반영하기 보다는 관행에 따라 수준별 선형적 가중치를 적용키로 하였다.

$$CPF_{1,i,d} = Correl_{day}(\overline{AG_m}, \overline{EG_m}) = \frac{Cov_{day}(\overline{AG_m}, \overline{EG_m})}{Sdev_{day}(\overline{AG_m}) \times Sdev_{day}(\overline{EG_m})}$$

〈표 3〉 AGC 제어성과 정산가중치

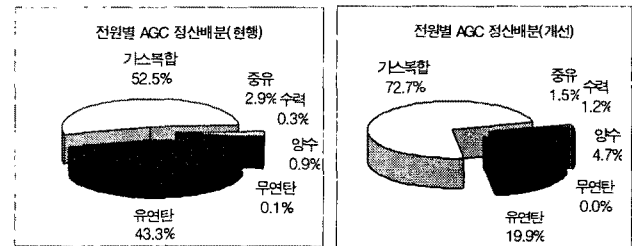
CPF _{1,i,d}	0.5미만	0.5이상 0.6미만	0.6이상 0.7미만	0.7이상 0.8미만	0.8이상 0.9미만	0.9이상 0.95미만	0.95이상
가중치	0.8	0.85	0.9	0.95	1	1.05	1.1

4.1.4 AGC 정산단가

본 논문은 발전기의 AGC 제공수준에 관한 기여도 및 이행성과를 반영하는 정산체계를 제시하기 위함이며, AGC 공급비용 및 정산단가 산정은 별도의 연구를 필요로 한다. 따라서 당분간 현행 전력시장의 정산금액 배분비율에 따른 정산단가가 적용될 예정이며, 전력거래소는 2006년 말까지 정산단가 및 비용분담에 관한 2단계 연구사업을 추진할 예정이다.

4.2 전력시장의 재무적 영향분석

다음은 2006년 4월 26일(1일분)의 EMS 급전자료를 활용한 전력시장의 재무적 영향분석 사례이다. 단 여기서 가용도 및 상관계수는 성과측정 사례의 결과를 준용하였다. 전체적으로 정산체계 변경에 따라 유연탄의 정산배분율이 감소하고, 가스복합, 수력, 양수 등의 정산배분율이 증가한다. 이는 기저발전기인 유연탄의 발전량을 극대화하고 한계발전기를 통한 부하 및 주파수제어라는 경제급전 원칙 및 계통운영 현황과 일치하는 결과이다.



〈그림 3〉 AGC 정산체계 변경에 따른 전원별 영향분석

5. 결 론

본 논문은 전력거래소가 추진하고 있는 발전기별 계통기여도 및 이행성과를 반영하는 AGC 정산체계의 세부내역을 설명하고, 사례분석을 통해 그 유효성을 입증하였다. 발전기별 기여도 및 이행성과는 각각 EMS의 AGC 제어참여율 및 기대출력 대비 실제출력의 통계적 상관계수(표준편차)에 의거하였다. 새로운 AGC 정산체계는 급전과 대가의 일치를 통하여, 발전사업자의 급전이행 동기를 제고하고 AGC 운전능력 및 설비의 최적화를 유인함으로써, 계통안정성 및 시장효율성 향상에 기여할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 한국전력거래소, "시장운영규칙", 2006년 1월.
- [2] NERC(North American Electricity Reliability Council), "Reference Document Interconnected Operations Services", ver1.1, March 2002.
- [3] Eric Hirst and Brendan Kirby, "Measuring Generator Performance in Providing Regulation and Load Following Ancillary Service, Oak Ridge National Laboratory, January 2001.
- [4] Mohammad Adnan Sujan, Chika Nwankpa, Mark H. Gravener, "An On-Line AGC Compliance Evaluator", IEEE Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Science, 2001.
- [5] ABB, KPX Market Operation System "Software Functional Specification Network Constrained Dispatch", November 2003.
- [6] ALSTOM ESCA, KPX Energy Management Platform "Generation Operator's Guide", May 1999.